Iranian Journal of Field Crops Research
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir



Research Article
Vol. 23, No. 2, Summer 2025, p. 109-129

Comparison of Yield and Quality of Forage in the Intercropping of Rye (*Secale cereale* L.) and Vetch (*Vicia villosa* Roth.) under Different Tillage Systems

T. Salavati[1], Gh. Heidari[1*], M. Majidi[2], Sh. Khalesro[1]

1- Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran
2- Agricultural Jihad Organization of Kurdistan Province, Sanandaj, Iran
(*- Corresponding author's Email: g.heidari@uok.ac.ir)

Received: 13 May 2024
Revised: 02 October 2024
Accepted: 07 October 2024
Available Online: 11 March 2025

How to cite this article:
Salavati, T., Heidari, Gh., Majidi, M., & Khalesro, Sh. (2025). Comparison of Yield and Quality of Forage in the Intercropping of Rye (*Secale cereale* L.) and Vetch (*Vicia villosa* Roth.) under Different Tillage Systems. *Iranian Journal of Field Crops Research, 23*(2), 109-129. (In Persian with English abstract)
https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.88050.1325

Introduction

Conservation tillage systems are a key component of sustainable agricultural management, significantly contributing to the improvement of soil's physical, biological, and chemical properties. One of effective factors in increasing sustainable production is the intercropping of crops and fodder. In addition to increasing the diversity of economic resources of the farm, intercropping increases the yield per unit area, biodiversity and efficient use of resources and reduces possible damage from pests and diseases. One of the common types of forage intercropping is the mixed crop of legumes and cereals. Cereals are at a high level in terms of dry matter, but they are poor in terms of protein, and on the other hand, legumes are at a high level in terms of protein. Therefore, the mixture of cereals and legumes will lead to the production of high-quality forage. Since the effects of the combined use of mixed cropping and conservation tillage on fodder production have been less evaluated, and considering the importance of vetch and rye crops in fodder production and livestock feeding, improving soil fertility and production stability in agroecosystems, it seems necessary to evaluate the effect of mixed cultivation of these plants in different tillage systems.

Materials and Methods

In order to investigate the effect of different tillage systems on intercropping of rye (*Secale cereale* L.) and vetch (*Vicia villosa* Roth), an experiment was carried out in the cropping year of 2018-2019 in the Gariza Agricultural Research Station of Sanandaj. The experiment was carried out as a split plot based on a randomized complete block design in three replications. Tillage methods include no tillage, reduced tillage and conventional tillage as the main factor and rye and vetch intercropping system in 5 levels including 100% vetch, 75% vetch + 25% rye, 50% vetch + 50% rye, 25% vetch + 75% rye and 100% rye were considered as secondary factor. In conventional tillage system, reversible plow and disk were used, and in reduced tillage system, goose claw was used for plowing. In all three tillage systems, sowing of two crops was done simultaneously and manually on 15th of October. The studied traits included the number of nodes in the hairy vetch root, dry forage yield of hairy vetch and rye, land equivalent ratio, neutral and acid detergent insoluble fiber, digestible dry matter, and ash percentage. SAS 9.1 software was used to analyze the data and LSD test was used to compare the average of the treatments. Graphs were also drawn using Excel.



https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.88050.1325

Results and Discussion

The results of analysis of variance showed that dry forage yield of rye and hairy vetch was influenced by the intercropping pattern and tillage systems. Among the mixed cropping combinations, the highest dry forage yield of rye (1625 kg ha^{-1}) was achieved in the treatment of 75% rye + 25% hairy vetch under conventional tillage, which did not show a significant difference compared to the treatment of 75% rye + 25% hairy vetch under reduced tillage. In all studied tillage systems, the 50% vetch and 50% rye intercropping pattern had a higher land equivalent ratio (LER). The lowest total LER was related to the conventional tillage system and the treatment of 75% vetch + 25% rye. Assessment of the forage quality showed that the insoluble fibers in acidic (ADF) and neutral (NDF) detergent in conventional tillage and rye monoculture were more than other treatments. The amounts of ADF and NDF were reduced in low tillage and no tillage systems. Also, by increasing the proportion of vetch in intercropping treatments, the amount of insoluble fibers in acidic (ADF) and neutral (NDF) detergents decreased. The highest digestible dry matter (DMD) was in the reduced tillage treatment. The percentage of forage ash in the mixed cropping treatment with the combination of 75% vetch and 25% rye was higher than other ratios of mixed cropping.

Conclusion

According to the results of the present experiment, the high value of land equivalent ratio (LER) in intercropping patterns indicates a better utilization of the unit of land area in intercropping. Overall, to maximize forage yield and enhance forage quality, the findings clearly demonstrate that intercropping outperforms monoculture for the crops studied.

Keywords: Conservation tillage, Forage digestibility, Forage yield, Land equivalent ratio

نشریه پژوهشهای زراعی ایران

Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۲۳، شماره ۲، تابستان ۱٤۰٤، ص ۱۲۹-۱۰۹

مقایسه عملکرد و کیفیت علوفه در کشت مخلوط چاودار (*Secale cereale* L.) و ماشک گل‌خوشه‌ای (*Vicia villosa* Roth.) تحت سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی

طالب صلواتی[۱]، غلامرضا حیدری[۱*]، محمد مجیدی[۲]، شیوا خالص‌رو[۱]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۱۶

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی درکشت مخلوط چاودار (*Secale cereale* L.) و ماشک گل‌خوشه‌ای (*Vicia villosa* Roth) آزمایشی در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ به‌صورت اسپلیت‌پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. روش‌های خاک‌ورزی شامل بدون خاک‌ورزی، کم خاک‌ورزی و خاک‌ورزی رایج به‌عنوان فاکتور اصلی و الگوهای کشت مخلوط چاودار و ماشک در پنج سطح شامل ۱۰۰ درصد ماشک، ۷۵ درصد ماشک + ۲۵ درصد چاودار، ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد چاودار، ۲۵ درصد ماشک + ۷۵ درصد چاودار و ۱۰۰ درصد چاودار به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. صفات مورد مطالعه شامل تعداد گره در ریشه ماشک، عملکرد علوفه خشک ماشک و چاودار، نسبت برابری زمین، الیاف نامحلول در شوینده اسیدی و خنثی، ماده خشک قابل هضم و درصد خاکستر بود. نتایج نشان داد که در بین ترکیب‌های کشت مخلوط، بیشترین عملکرد علوفه خشک چاودار ($1625\ kg\ ha^{-1}$) در تیمار ۷۵ درصد چاودار + ۲۵ درصد ماشک و در سیستم خاک‌ورزی متداول حاصل شد که با تیمار ۷۵ درصد چاودار + ۲۵ درصد ماشک در سیستم خاک‌ورزی کاهش‌یافته اختلاف معنی‌داری نداشت. در تمامی سیستم‌های خاکورزی مورد آزمایش، الگوی کشت ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد چاودار، نسبت برابری زمین (LER) بالاتری داشت. بررسی نتایج کیفیت علوفه نشان داد که الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (ADF) و خنثی (NDF) در خاک‌ورزی رایج و کشت خالص چاودار بیشتر از سایر تیمارهای مورد آزمایش بود، درحالی‌که با افزایش نسبت ماشک در کشت مخلوط، مقدار الیاف نامحلول کاهش پیدا کرد. بیشترین ماده خشک قابل هضم (DMD) به‌میزان ۴۴۵/۶ گرم بر کیلوگرم به تیمار شخم کاهشی مربوط بود. این یافته‌ها بر پتانسیل استفاده از خاک‌ورزی حفاظتی و سیستم‌های کشت مخلوط به‌عنوان راهبردهای مؤثر کشاورزی برای افزایش کمیت و کیفیت تولید علوفه تأکید می‌کنند.

واژه‌های کلیدی: خاک‌ورزی حفاظتی، عملکرد علوفه، قابلیت هضم علوفه، نسبت برابری زمین

مقدمه

عملیات خاک‌ورزی و آماده‌سازی بستر به‌تنهایی بخش مهمی از هزینه‌های تولید گیاهان زراعی را به خود اختصاص می‌دهد و می‌تواند بر خصوصیات خاک نظیر رطوبت، دما و فشردگی خاک مؤثر باشد (Bagnall, Jones, Balke, Morgan, & McBratney, 2020). ایجاد بستر مناسب رشد گیاهان با انتخاب و اجرای صحیح یک سیستم خاک‌ورزی فراهم می‌شود (Schillinger, Young, Kennedy, & Paulitz, 2010). در روش رایج خاک‌ورزی، بستر رشد گیاهان از طریق مخلوط کردن بقایای احتمالی باقی‌مانده با خاک و حذف آن‌ها از سطح خاک و همچنین شکستن چرخه زندگی موجودات خاک‌زی انجام می‌گیرد (Issaka *et al.*, 2019). علاوه‌بر موارد مذکور، عدم کشت به‌موقع محصول، فرسایش بادی و آبی،کاهش ماده آلی خاک، تخریب ساختمان خاک، مصرف آب زیاد، مصرف بی‌رویه سوخت‌های فسیلی برای آماده سازی بسترکاشت و در نهایت افزایش هزینه‌های تولید و از بین بردن بقایای گیاهی از معایب این سیستم می‌باشد (Bagnall *et al.*, 2020). با توجه به وجود آب‌وهوای خشک و نیمه‌خشک در ایران، حفظ بقایا گیاهی در خاک و اعمال روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی یکی از راهکارهای رفع این

۱- گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

۲- سازمان جهاد کشاورزی استان کردستان، سنندج، ایران

(*- نویسنده مسئول: Email: g.heidari@uok.ac.ir)

https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.88050.1325

مشکلات می‌باشد (Asadi, Rezaei-Chiyaneh, & Amirnia, 2019). خاک‌ورزی، از طریق ایجاد تغییر در خصوصیات خاک، به پایداری کشاورزی و بهبود کیفیت خاک منتهی می‌گردد و یکی از مهم‌ترین عملیات زراعی مؤثر در تعیین خصوصیات فیزیکی (بافت و وزن مخصوص ظاهری) و هیدرولیکی (نفوذ آب و میزان رطوبت) خاک می‌باشد (Gozubuyuk Sahin, Ozturk, Celik, & Adiguzel., 2014).

در مدیریت‌های تولید پایدار، سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی یکی از مؤلفه‌های مهم به‌شمار می‌روند. این سیستم‌ها در بهبود خصوصیات فیزیکی، بیولوژیکی و شیمیایی خاک نقش بسزایی دارند (Heidari Mohammadi, & Sohrabi., 2016). اجرای خاک‌ورزی حفاظتی در مقایسه با خاک‌ورزی رایج، در سطح خاک اختلال کمتری ایجاد می‌کند، به نیروی کار کمتری نیاز دارد و موجب افزایش ذخیره رطوبتی و ماده آلی خاک می‌شود (Simmons & Coleman, 2008). بنابراین، سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی ضمن عدم کاهش عملکرد و کیفیت محصول، آسیب به خاک و مصرف انرژی را نیز کاهش می‌دهند و جایگزین مناسبی برای سیستم‌های خاک‌ورزی رایج به‌حساب می‌آیند (Heidari *et al*., 2016).

بر اساس مطالعات قبلی، رویکرد به کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی به کاهش هزینه‌ها و مصرف انرژی و استهلاک ادوات، صرفه‌جویی در زمان اجرای عملیات، حفظ محیط زیست و پایداری سیستم تولید در جهان منجر شده است (Issaka *et al*., 2019). در سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی، کاهش هزینه‌های تولید نمی‌تواند دلیل برتری روش‌های کم‌خاک‌ورزی باشد و لازم است که این روش‌ها از نظر تأثیر بر عملکرد و کیفیت محصول گیاهان زراعی نیز ارزیابی شوند و پاسخ خاک به سیستم‌های خاک‌ورزی کاهش‌یافته منوط به یک دوران گذار است (Indoria, Srinivasa-Rao, Sharma, & Sammi Reddy, 2017). نتایج بررسی تأثیر بلندمدت روش‌های مختلف خاکورزی نشان داد که روش بی‌خاک‌ورزی موجب افزایش عملکرد گندم (۶۶ درصد) نسبت به روش خاک‌ورزی حفاظتی در شرایط دیم شد (Chaghazardi, Jahansuz, Ahmadi, & Gorji, 2016). در تحقیقی دیگر، افضلی‌نیا و کرمی (Afzalinia & Karami, 2018) افزایش عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) را در روش بی‌خاک‌ورزی و کم‌خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم گزارش کردند. در پژوهشی، اثر سیستم‌های خاک‌ورزی بر صفات رشدی، عملکرد و بازده اقتصادی نخود در شرایط دیم مورد مطالعه قرار گرفت و نتایج نشان داد که بین سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی اختلاف معنی‌داری وجود داشت، به‌طوری‌که، بیشترین تعداد غلاف در بوته، ارتفاع بوته، تعداد شاخه اصلی و جانبی، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و عملکرد پروتئین در سیستم شخم کاهشی به دست آمد که نسبت به شخم مرسوم به‌ترتیب ۲۶/۴، ۱۶/۸، ۲۷/۴، ۲۸/۶، ۱۰/۹، ۱۹/۶ و ۱۷/۱ درصد افزایش داشتند (Javanmard *et al*., 2022).

کشت مخلوط به‌عنوان یکی از مهم‌ترین سیستم‌های کشاورزی قابل اجرا در بسیاری از کشورهای توسعه‌یافته شناخته شده که به جهت تنوع محصولات و افزایش سود حاصله در واحد سطح و زمان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Mohavieh-Asadi, Bijanzadeh, & Behpouri, & Barati, 2020). در همین راستا، یکی از عوامل تشکیل‌دهنده و مؤثر در افزایش تولید پایدار، سیستم کشت مخلوط گیاهان زراعی و علوفه‌ای می‌باشد. کشت مخلوط به‌غیر از بالا بردن تنوع منابع اقتصادی مزرعه، باعث افزایش عملکرد در واحد سطح، استفاده کارآمدتر از منابع، کاهش خسارت احتمالی آفات و بیماری‌ها، افزایش تنوع زیستی و تغذیه مطلوب‌تر انسان و دام وکاهش خسارت آفات می‌شود (Shahbazi, Jalilian, Alizadeh, & Javanmard, 2022). هدف اصلی از کشت مخلوط گیاهان علوفه‌ای، افزایش عملکرد در واحد سطح و کیفیت محصول می‌باشد و در اغلب موارد از گیاهان خانواده بقولات و غلات استفاده می‌شود. غلات از نظر ماده خشک در سطح بالایی قرار دارند، ولی از حیث پروتئین فقیر هستند و در نقطه مقابل، بقولات از نظر میزان پروتئین در سطح بالایی قرار دارند. ازاین‌رو، مخلوط غلات و بقولات منجر به تولید علوفه‌ای با کیفیت بالا خواهد شد (Heydarpour, Namdari, & Baghbani-Arani, 2018).

چاودار با نام علمی *Secale cereale* گیاهی از تیره Poaceae است که دارای رشد بسیار سریع و تولید زیست‌توده‌ی بالا می‌باشد، جهت تقویت مواد آلی خاک، افزایش میزان نفوذپذیری خاک، کمک به حفظ رطوبت موجود در خاک، زیست‌توده متراکم، داشتن ترکیب‌های دگرآسیب و همچنین مهار فرسایش‌های بادی و آبی از مناسب‌ترین گیاهان در کشت‌های مخلوط می‌باشد (Pinnamaneni, Mubvumba, Anapalli, & Reddy, 2022). ماشک نیز از تیره بقولات و جزء گیاهان یک‌ساله محسوب است که از مهم‌ترین فواید کشت آن تثبیت نیتروژن در خاک، جلوگیری از فرسایش خاک، تهیه علوفه تازه و خشک برای دام‌ها، تهیه کود سبز، مهار علف‌های هرز تابستانه و رعایت تناوب زراعی و جلوگیری از آلودگی آب‌های زیرزمینی را می‌توان نام برد. این گیاه دارای گره‌هایی روی ریشه است که حاوی باکتری بوده و می‌توانند نیتروژن هوا را تثبیت نمایند. این گیاه چون دارای استقرار سریع‌تر، ایجاد پوشش مناسب بر روی سطح خاک، رشد خوب و تحمل تراکم بالاو همچنین تثبیت نیتروژن بالا است، می‌تواند به‌عنوان یک گیاه مطلوب برای استفاده در کشت مخلوط و یا استفاده به‌عنوان کود سبز و یا به‌عنوان گیاه پوششی مورد استفاده قرار گیرد (Shahbazi *et al*., 2022).

در کشت مخلوط غلات با گیاهان تیره بقولات، به‌دلیل استفاده بهینه از نور و استفاده از نیتروژن تولیدشده بقولات توسط گیاهان تیره

گرامینه، عملکرد کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی افزایش پیدا می‌کند. مخلوط غلات و لگوم می‌تواند منجر به جذب کارآمدتر منابع محدودکننده رشد و افزایش و تثبیت عملکرد شود (Neugschwandtner & Kaul, 2015). نقش لگوم‌ها نیز به‌عنوان منبع مهمی در جیره غذایی تغذیه انسان، دام و افزایش حاصلخیزی خاک شناخته شده است (Stagnari, Maggio, Galieni, & Pisante, 2017).

در یک تحقیق، ترکیب جو (*Hordeum vulgare* L.) و ماشک (*Vicia sativa* L.) در نسبت‌های مختلف، بوته‌های ماشک از نظر فیزیکی توسط جو حمایت می‌شوند که این موضوع به استقرار و نمو بهتر بوته و در نهایت عملکرد بالاتر منجر می‌گردد (Heydarpour *et al.*, 2018). افزایش تعداد گره‌های تثبیت‌کننده نیتروژن نیز در این سامانه، میزان دسترسی و جذب نیتروژن را افزایش می‌دهد (Asadi *et al.*, 2019). از طرفی دیگر، کشت مخلوط گندم- نخود سبب افزایش حاصلخیزی خاک گردیده و به‌عنوان یک روش سازگار با محیط زیست به‌واسطه کاهش نیاز به مصرف کودهای شیمیایی توصیه گردیده است (Akhtar, Jamil, Ahamd, & Abbasi, 2017). کشت مخلوط ذرت (*Zea mays* L.) و سویا (*Glycine max* L.) باعث افزایش عملکرد دانه ذرت و افزایش تولید در سویا شده است که منجر به تعادل بالای تولید محصول و پایداری کشاورزی می‌شود (Du *et al.*, 2018). نتایج تحقیقی دیگر نشان داد که کشت مخلوط اثر معنی‌داری برکلیه صفات عملکرد و اجزای عملکرد مورد بررسی تریتیکاله داشت، به‌طوری‌که بیشترین عملکرد دانه تریتیکاله از کشت خالص وکمترین عملکرد دانه ازکشت مخلوط تریتیکاله با ماشک گل‌خوشه‌ای (*Vicia villosa* Roth) به دست آمد (Salehi, Amirnia, Rezaei-Chiyaneh, & Khalilvandi-Behrozyar, 2018). نتایج یک بررسی حاکی از آن بود که مخلوط لگوم و گراس از طریق کاهش شاخص‌های NDF[1] و ADF[2] کیفیت علوفه را افزایش می‌دهد (Van der Werf *et al.*, 2021). نتایج تحقیق صالحی و همکاران (Salehi *et al.*, 2018) نشان داد که کشت مخلوط بر تمامی خصوصیات زراعی و کیفی علوفه مؤثر بوده است و از طریق کاهش NDF و ADF موجب افزایش کیفیت علوفه شد. در تحقیق دهقانیان و همکاران (Dehghanian, Barmaki, Dabbagh-Mohamadi-Nasab, & Seifdavati, 2020) که روی کشت مخلوط جو، تریتیکاله (*Triticosecale* Withmack)، یولاف (*Avena sativa* L.) و خلر (*Lathyrus sativus* L.) در سه الگوی کشت ۱۰۰ :۲۵، ۱۰۰ :۵۰ و ۸۰ :۵۰ انجام گرفت، مشاهده شد که بین تیمارهای مخلوط، ترکیب جو + خلر و یولاف + خلر (۸۰ :۵۰) بیشترین کمیت و کیفیت علوفه را به خود اختصاص دادند. علاوه‌بر این، الگوهای کشت مذکور از بیشترین نسبت برابری زمین (LER)[3] برخوردار بودند. توریفی و همکاران (Toreifi, Fateh, & Aynehband, 2018) در بررسی کشت مخلوط شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) و جو نشان دادند که بیشترین وزن خشک مخلوط (۱۲۷۷گرم در مترمربع) و بیشترین نسبت برابری زمین (۱/۱۵) از تیمار کشت مخلوط افزایشی ۲۰ درصد شنبلیله با جو به دست آمد. بالاترین درصد پروتئین خام و قابلیت هضم ماده خشک و خاکستر علوفه از کشت خالص شنبلیله به دست آمد. همچنین این محققان گزارش کردند که وجود شنبلیله در کشت مخلوط با جو باعث افزایش کیفیت مخلوط می‌شود، چون هر چه میزان شنبلیله در کشت مخلوط بیشتر باشد، میزان پروتئین در آن نسبت مخلوط افزایش و میزان الیاف نامحلول اسیدی و خنثی کم‌تر و به‌دنبال آن کیفیت و خوش‌خوراکی آن افزایش می‌یابد.

با وجود اقلیم خشک در کشور و کاهش حاصلخیزی خاک، افزایش آلودگی‌های زیست‌محیطی و نیاز به بهره‌گیری از سیستم‌های کشاورزی حفاظتی در جهت حفظ و ثبات عملکرد و پایداری و تعادل عوامل زیست‌محیطی امری لازم به نظر می‌رسد. از سوی دیگر با توجه به مرور تحقیقات انجام‌شده، ازآنجایی‌که اثرات کاربرد ترکیبی کشت مخلوط و خاک‌ورزی حفاظتی بر تولید علوفه کمتر مورد ارزیابی قرار گرفته است و نیز با توجه به اهمیت دو گیاه ماشک و چاودار در تولید علوفه و تغذیه دام، اصلاح حاصلخیزی خاک و ثبات تولید در آگرواکوسیستم‌ها و ارزیابی اثر کشت مخلوط این گیاهان در سامانه‌های خاک‌ورزی مختلف، این آزمایش با اهداف بررسی تأثیر سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی بر عملکرد علوفه و خصوصیات کیفی چاودار و ماشک در کشت مخلوط سری‌های جایگزینی طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ به‌صورت دیم در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گریزه با مشخصات طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۱ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۴۰۵ متر از سطح دریا، واقع در شهرستان سنندج انجام شد. اطلاعات مربوط به میزان بارندگی و درجه حرارت محل اجرای آزمایش و برخی مشخصات خاک زراعی محل اجرای آزمایش به‌ترتیب در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است.

1- Neutral detergent fiber
2- Acid detergent fiber
3- Land equivalent ratio

جدول ۱- بارندگی ماهیانه و حداقل و حداکثر دمای مکان آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷

Table 1- Monthly precipitation and minimum and maximum temperatures of the test location in the agricultural year 2018-2019

پارامترهای هواشناسی Meteorological parameters	دی Jan.	بهمن Feb.	اسفند Mar.	فروردین Apr.	اردیبهشت May	خرداد Jun.	تیر Jul.	مرداد Aug.	شهریور Sep.	مهر Oct.	آبان Nov.	آذر Dec.
بارندگی Precipitation (mm)	145.4	58.5	176.2	114.2	10.5	2.3	0	1.3	0.1	15.2	67.5	120.3
حداقل دما Minimum temperature (°C)	6.9	8.9	13.8	19.8	28.7	33.7	36.6	37.5	30.7	27.7	14.8	12.9
حداکثر دما Maximum temperature (°C)	-11.9	-5.9	-5.8	-1.0	6.9	11.9	11.9	11.6	9.9	1.0	-2.9	-7.0

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه قبل از اجرای آزمایش

Table 2- Physical and chemical characteristics of farm soil before the experiment

رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	بافت Texture	هدایت الکتریکی EC (dS m^{-1})	pH	کربن آلی Organic carbon (%)	نیتروژن N (%)	فسفر قابل جذب P (ppm)	پتاسیم قابل جذب K (ppm)
34	36	30	لومی‌رسی	0.9	7.3	0.77	0.093	11	170

آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات و بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. سطوح خاک‌ورزی به‌عنوان عامل اصلی شامل شخم رایج، کم خاک‌ورزی و بدون خاک‌ورزی بود. کشت مخلوط نیز به‌عنوان عامل فرعی در پنج سطح شامل کشت خالص چاودار، کشت خالص ماشک، ۲۵ درصد ماشک + ۷۵ درصد چاودار، ۵۰ درصد ماشک + ۵۰ درصد چاودار و ۲۵ درصد چاودار + ۷۵ درصد ماشک بود. زمین مورد آزمایش، سال زراعی قبل زیر کشت نخود بود که بقایای آن حفظ شده بود. فاصله بین تکرارها چهار متر و در هر تکرار، فاصله بین سیستم‌های خاک‌ورزی دو متر در نظر گرفته شد. اندازه کرت‌های اصلی ۴ × ۱۲ منظور شد. در سیستم خاک‌ورزی مرسوم از گاوآهن برگردان‌دار و دیسک و در سیستم کم خاک‌ورزی از پنجه غازی برای انجام شخم استفاده شد. با توجه به نتایج آزمایش خاک، مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر (P_2O_5) از منبع سوپرفسفات تریپل و ۵۰ کیلوگرم کود پتاسیم (K_2O) از منبع پتاسیم سولفات قبل از کاشت در زمین پخش شد. همچنین در بهار، مقدار ۶۰ کیلوگرم کود نیتروژن از منبع اوره به‌صورت سرک به تمامی تیمارها داده شد. در هر سه سیستم خاک‌ورزی، کشت دو گیاه به‌طور هم‌زمان و به‌صورت دستی در تاریخ ۱۱ مهر ماه ۱۳۹۷ انجام شد. به‌منظور دستیابی به تراکم مناسب کشت در تیمارهای کشت خالص، ماشک گل‌خوشه‌ای (*Vicia villosa* Roth.) رقم گلشن (تیپ رشد پاییزه، سازگاری بالا به اقلیم سرد و معتدل کشور، ارتفاع بوته بیشتر نسبت به سایر ارقام، عملکرد علوفه بالا، متحمل به خشکی، داشتن تیپ رونده و مناسب برای کشت مخلوط با غلات) با تراکم ۲۰۰ بوته در مترمربع (Renzi, Chantre, & Cantamutto, 2016) و چاودار رقم دانکو[1] (تیپ رشد پاییزه، متوسط ارتفاع بوته ۱۴۰ سانتی‌متر، میانگین وزن هزار دانه ۲۶ گرم، رنگدانه تیره، کیفیت نانوایی خوب، نیمه‌مقاوم نسبت به خوابیدگی و ریزش دانه، متحمل به سرما، مقاوم به زنگ‌های زرد و قهوه‌ای) با تراکم ۴۰۰ بوته در مترمربع (Schlegel, 2013) کاشته شدند و در تیمارهای ترکیبی با توجه به نسبت هر گیاه، تراکم مورد نظر اعمال گردید. در هر کرت ۱۰ ردیف با فاصله ۳۵ سانتی‌متر کشت شدند. طول خطوط کاشت چهار متر بود. در طول اجرای آزمایش، مراقبت‌های زراعی از قبیل مهارعلف‌های هرز اعمال شد.

عملیات برداشت علوفه هنگامی انجام شد که ۵۰ درصد از بوته‌های ماشک به گل رفته بودند. در این زمان، بوته‌های چاودار در مرحله شیری و ابتدای خمیری بودند. بدین صورت که بعد از حذف دو ردیف از هر طرف و ۰/۵ متر از ابتدا و انتهای تمام ردیف‌ها برای تعیین عملکرد بیولوژیک هر دو گونه گیاهی، دو مترمربع از هر کرت برداشت شد. جهت اندازه‌گیری عملکرد علوفه خشک، نمونه‌های تر به‌مدت ۴۸ ساعت در داخل آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و وزن خشک نمونه‌ها توسط ترازوی دیجیتال برحسب گرم در مترمربع اندازه‌گیری و به کیلوگرم در هکتار تعمیم داده شدند.

1- Danko

همچنین اندازه‌گیری نسبت برابری زمین (LER)[1] در هر سه سیستم خاک‌ورزی و در تمام ترکیب‌های کشت مخلوط با استفاده از روابط (۱) و (۲) انجام شد (Yilmaz, Atak, & Erayman, 2008):

رابطه (۱) $LERt = LERa + LERb$

رابطه (۲) $LERt = Yab/Ya + Yab/Ya$

که در آن، LERa و LERb: به‌ترتیب، بیانگر نسبت برابری زمین برای گونه a و گونه b می‌باشد، Yab و Yba: به‌ترتیب نشان‌دهنده عملکرد گونه a و b در کشت مخلوط هستند، از سوی دیگر، Ya: بیانگر عملکرد گونه a در کشت خالص و Yb: به مفهوم عملکرد گونه b در کشت خالص می‌باشد و LERt: نیز نشان‌دهنده مجموع کل نسبت برابری زمین برای دو گونه مورد مطالعه می‌باشد.

در این آزمایش، شاخص‌های مرتبط با کیفیت علوفه شامل درصد خاکستر (AOAC, 1990)، هضم‌پذیری ماده خشک قابل هضم (DMD)[2] به‌روش اودی و همکاران (Oddy, Robards, & Low, 1983)، الیاف نامحلول در شوینده خنثی (NDF)[3] و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (ADF)[4] به‌روش وان‌سوست و همکاران (Van Soest, Robertson, & Lewis, 1991) اندازه‌گیری شدند.

قبل از تجزیه واریانس، آزمون نرمال بودن داده‌ها انجام شد و پس از اطمینان از توزیع نرمال داده‌ها، برای تجزیه و تحلیل داده‌های به‌دست‌آمده از نرم‌افزار SAS 9.1 و برای مقایسه میانگین تیمارها از آزمون LSD در سطح احتمال یک و پنج درصد استفاده گردید. همچنین رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

تعداد گره در ریشه ماشک

جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) بیانگر آن بود که اثر خاک‌ورزی و اثر متقابل سیستم خاکورزی و الگوی کشت بر تعداد گره در ریشه ماشک در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل عامل‌ها نشان داد که در روش کم‌خاک‌ورزی، اختلاط تراکمی ۷۵ درصد ماشک و ۲۵ درصد چاودار با ۱۹ عدد گره در ریشه بیشترین تعداد گره را داشت، ولی با سایر سطوح کشت مخلوط در تیمار کم‌خاک‌ورزی اختلاف معنی‌دار نداشت. در روش خاک‌ورزی متداول، نسبت‌های مختلف کشت مخلوط از کمترین تعداد گره در ریشه برخوردار بودند و با یکدیگراختلاف معنی‌داری نداشتند (شکل ۱). به نظر می‌رسد که به‌هم‌خوردگی خاک و تخریب ساختمان خاک در روش‌های متداول خاک‌ورزی، از بین رفتن مواد آلی و کاهش عناصر غذایی موجود در خاک را به‌همراه خواهد داشت. این رفتار کلی به‌طور مستقیم با اختلالات مکانیکی ایجادشده توسط خاک‌ورزی مرتبط است که ممکن است بر گسترش گره‌های ریشه و در نتیجه امکان ارتباط باکتری ریزوبیوم با گیاهان تأثیر بگذارد (Oehl & Koch, 2018). در آزمایشی روی کشت مخلوط تریتیکاله و باقلا (*Vicia faba* L.) مشاهده شد که بیشترین تعداد گره به تیمار کشت مخلوط این دو گیاه مربوط بوده است که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد (Sori *et al*., 2020).

عملکرد علوفه خشک چاودار

جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) بیانگر آن بود که اثر متقابل سیستم خاکورزی و الگوی کشت بر عملکرد علوفه خشک چاودار در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل روش‌های خاک‌ورزی در نسبت‌های تراکمی نشان داد که کشت خالص چاودار با میانگین ۱۸۴۰ کیلوگرم در هکتار در روش خاک‌ورزی متداول بیشترین مقدار علوفه خشک را داشت که با همین الگوی کشت در سطوح خاک‌ورزی بدون شخم (۱۸۳۳ کیلوگرم در هکتار) و شخم کاهش‌یافته (۱۸۳۳ کیلوگرم در هکتار) اختلاف معنی‌داری نداشت. در بین الگوهای کشت مخلوط، تیمار جایگزینی ۷۵ درصد چاودار و ۲۵ درصد ماشک در سیستم خاک‌ورزی متداول، بیشترین عملکرد علوفه‌ی خشک را داشت که اختلاف آن با تیمار ۷۵ درصد چاودار و ۲۵ درصد ماشک در خاک‌ورزی کاهش‌یافته معنی‌دار نبود. عملکرد علوفه خشک چاودار در تیمار ۷۵ درصد ماشک و ۲۵ درصد چاودار در هر سه سیستم خاکورزی در سطح مشابه آماری قرار داشت (شکل ۲). احسانی‌فر و همکاران (Ehsanifar, Dahmardeh, & Khammari, 2015) در آزمایشی روی کشت مخلوط ارزن و گاودانه نشان دادند که سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی از لحاظ عملکرد بیولوژیک تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند، امّا نسبت‌های مختلف کشت مخلوط از لحاظ این صفت از اختلاف معنی‌داری برخوردار بودند. پوریوسف و علیزاده (Pooryousef & Alizadeh, 2018) بیان کردند که بیشترین عملکرد علوفه خشک جو نیز در کشت خالص آن به دست آمد که اختلاف معنی‌داری با کشت مخلوط دو سهم جو و یک سهم ماشک نداشت. نتایج تحقیق صالحی و همکاران (Salehi *et al*., 2018) نشان داد که کاهش عملکرد علوفه خشک تریتیکاله در الگوهای مختلف کشت مخلوط، در مقایسه با کشت خالص ممکن است به‌دلیل بالا بودن رقابت لگوم‌ها با تریتیکاله و یا عدم انتقال نیتروژن کافی باشد. محققان اظهار داشتند که کمتر بودن عملکرد علوفه خشک تریتیکاله در کشت مخلوط با ماشک گل‌خوشه‌ای نسبت به سایر تیمارها، به‌دلیل رشد سریع و بیشتر ماشک گل‌خوشه‌ای در مقایسه با سایر لگوم‌ها و افزایش رقابت برون‌گونه‌ای باشد.

1- Land equivalent ratio
2- Digestible dry matter
3- Neutral detergent fiber
4- Acid detergent fiber

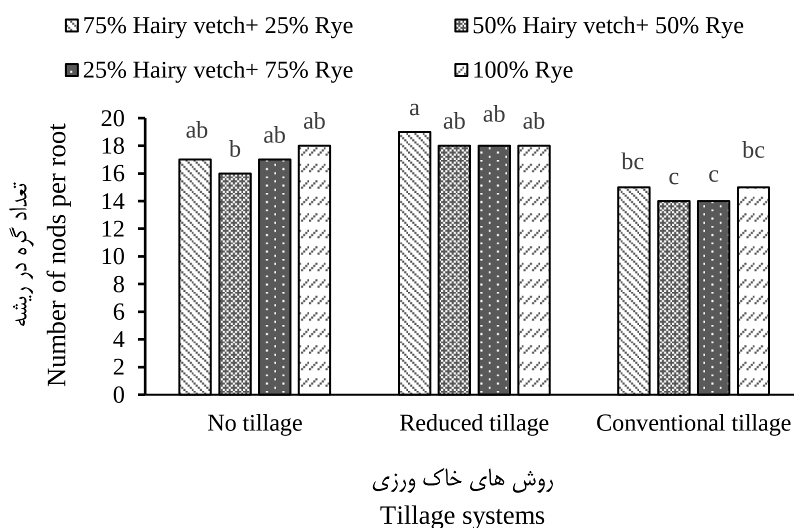
جدول ۳- تجزیه واریانس عملکرد علوفه تحت تأثیر روش‌های خاک‌ورزی و نسبت‌های کشت مخلوط چاودار و ماشک

Table 3- ANOVA for forage yield affected by tillage methods and intercropping ratios of rye and vetch

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات (MS)		
		تعداد گره ریشه ماشک Number of root nods in vetch	عملکرد علوفه خشک چاودار Yield of dry rye forage	عملکرد علوفه خشک ماشک Yield of dry vetch forage
بلوک Replication	2	3.9 ns	23557.2*	636.7 ns
سیستم خاک‌ورزی Tillage systems (T)	2	19.5**	45885.4*	69027.1*
خطای ۱ Error 1	4	2.1	2621.4	4670.3
الگوی کشت Planting pattern (P)	3	2.7 ns	3009209.4**	5289065.5**
خاک‌ورزی × الگوی کشت T×P	6	5.7**	12415.5**	20893.3**
خطای ۲ Error 2	18	1.6	2132.9	6408.8
ضریب تغییرات C.V (%)	-	6.9	5.6	7.4

ns و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد را نشان می‌دهد.

ns and **: are non-significant and significant at 1% probability levels, respectively.



شکل ۱- مقایسه میانگین تعداد گره در ریشه ماشک تحت تأثیر روش‌های خاک‌ورزی و نسبت‌های کشت مخلوط با آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد

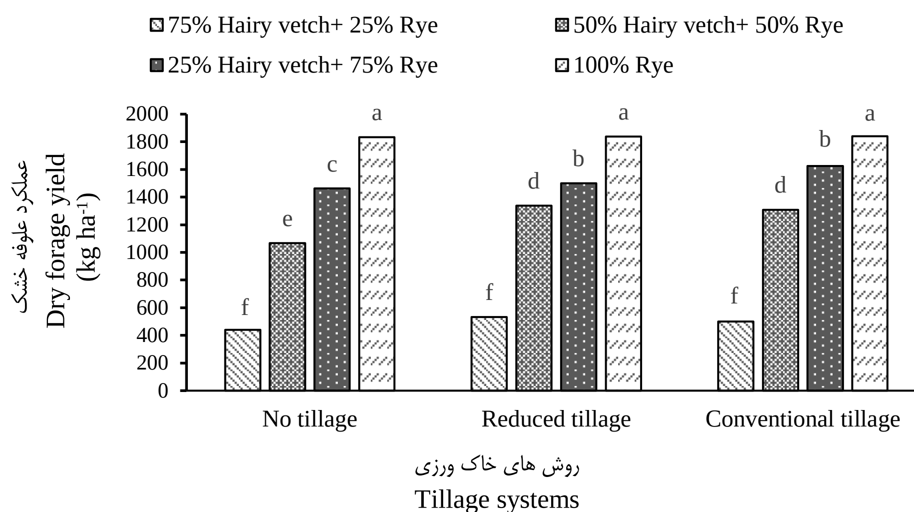
Figure 1- Mean comparison of number of nods per root in hairy vetch under tillage systems and intercropping ratios with LSD 1%

حروف همسان نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است

Similar letters indicate statitically insignificant differences.

نتایج پژوهش دیگری نشان داد که در کشت مخلوط نخود فرنگی با تریتیکاله، گندم و چاودار، بیشترین میزان عملکرد علوفه خشک، از کشت خالص تریتیکاله حاصل شد (Lithourgidis, Vlachostergios, Dordas, & Damalas, 2021). در پژوهش دیگری، افزایش عملکرد علوفه خشک تریتیکاله در تیمار ۳۰ درصد ماشک + ۷۰ درصد تریتیکاله نسبت به سایر الگوهای کشت مخلوط

گزارش شده است (Rabiee & Farahdahr, 2020). این افزایش می‌تواند ناشی از افزایش تراکم و همچنین الگوهای مکمل استفاده از منابع و اثرات متقابل تسهیل‌کنندگی بین دو گونه باشد. به نظر می‌رسد که در این ترکیب، از عوامل محیطی مؤثر در رشد از جمله نور خورشید، استفاده بهتری شده است (Ansar *et al.*, 2010). براساس بررسی محققان، بیشترین وزن خشک کل علوفه سویا (*Glycine max*) و ذرت (*Zea mays* L.) از کشت مخلوط و نسبت‌های مختلف اختلاط به دست آمد، به‌طوری‌که بیشترین وزن خشک علوفه ذرت از تیمار ۲۵:۷۵ ذرت- سویا حاصل شد، که این تیمار از نظر آماری تفاوتی با تیمار کشت ۵۰:۵۰ ذرت- سویا نداشت (Baghdadi, Halim, Ghasemzadeh, & Ebrahimi, 2016). در کشت مخلوط ماشک و تریتیکاله عملکرد کل علوفه خشک حاصل از کشت مخلوط ۵۰:۵۰ ماشک- تریتیکاله، نسبت به سایر تیمارها برتری داشت.



شکل ۲- مقایسه میانگین عملکرد علوفه خشک چاودار تحت تأثیر روش‌های خاک‌ورزی و نسبت‌های کشت مخلوط با آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد

Figure 2- Mean comparison of yield of rye dry forage under tillage systems and intercropping ratios with LSD 1%

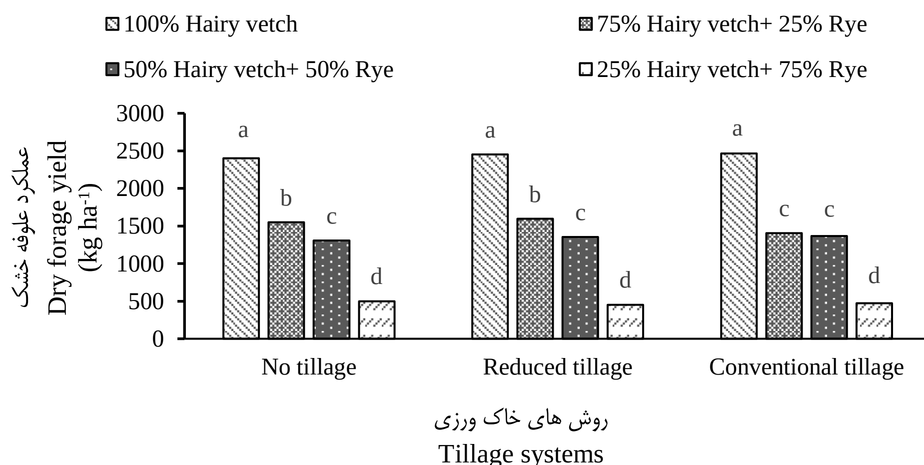
حروف همسان نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است

Similar letters indicate statitically insignificant differences.

عملکرد علوفه خشک ماشک گل‌خوشه‌ای

جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که اثر متقابل سیستم خاکورزی و الگوی کشت بر عملکرد علوفه خشک ماشک گل‌خوشه‌ای در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین اثر متقابل عامل‌های مورد مطالعه نشان داد که بیشترین عملکرد علوفه خشک ماشک متعلق به تیمار کشت خالص ماشک و خاک‌ورزی متداول با ۲۴۶۶/۹ کیلوگرم در هکتار مربوط بود که با تیمارهای ۱۰۰ درصد ماشک و خاک‌ورزی کاهش‌یافته و ۱۰۰ درصد ماشک و بدون خاک‌ورزی اختلاف معنی‌داری نداشت. در بین تیمارهای کشت مخلوط، بیشترین عملکرد علوفه خشک به تیمار ۷۵ درصد ماشک و ۲۵ درصد چاودار در خاک‌ورزی کاهش‌یافته مربوط بود. کمترین عملکرد علوفه خشک ماشک متعلق به تیمار ترکیب ۲۵ درصد ماشک و ۷۵ درصد چاودار به‌ترتیب معادل ۴۹۸/۷، ۴۵۳/۶ و ۴۷۴/۱ کیلوگرم در هکتار در سیستم خاک‌ورزی بدون شخم، کاهش‌یافته و رایج بود (شکل ۳). بالا بودن عملکرد علوفه در الگوی کشت خالص در مقایسه با الگوهای کشت مخلوط ممکن است به‌دلیل بالا بودن رقابت بین گونه‌ای در مقایسه با رقابت درون گونه‌ای باشد. در آزمایشی که روی کشت مخلوط بقولات یک‌ساله (خلر، نخود علوفه‌ای، ماشک گل‌خوشه‌ای و ماشک مجاری) با جو انجام شد گزارش گردید که بیشترین عملکرد علوفه خشک جو از کشت خالص جو به دست آمده است (Lamei Hervani, 2013). همچنین طی مطالعه‌ای گزارش گردید که ذرت در کشت مخلوط با لگوم‌هایی مانند شبدر برسیم (*Trifolium alexandrinum*)، ماشک گل‌خوشه‌ای (*Vicia villosa* Roth)، لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) و گاودانه (*Vicia ervilia* L.) به‌ویژه ماشک گل‌خوشه‌ای و گاودانه، علوفه خشک کمتری در مقایسه با کشت خالص دارا بود که به‌دلیل رشد سریع این گیاهان در مقایسه با ذرت و افزایش رقابت برون گونه‌ای در مراحل اولیه رشد ذرت بود (Javanmard, Dabbagh-Mohammadi-Nasab, Javanshir, Moghaddam, &

(Janmohammadi, 2009). افزایش عملکرد در کشت مخلوط می‌تواند ناشی از تفاوت سیستم ریشه‌ای دو گیاه باشد. گیاه چاودار دارای سیستم ریشه‌ای افشان و گیاه ماشک دارای سیستم ریشه‌ای عمیق می‌باشد که باعث می‌شود آب و مواد غذایی در لایه‌های مختلف خاک به‌راحتی توسط هر دو گیاه جذب شود. تثبیت بیولوژیک ازت موجود در هوا به‌وسیله ریشه ماشک می‌تواند یکی دیگر از عوامل موفقیت کشت مخلوط قلمداد شود. ویژگی‌های زراعی واریته‌های مختلف غلات دانه‌ریز و گیاهان علوفه‌ای، نسبت‌های کشت و رقابت بین اجزای ترکیب درکشت مخلوط، بر عملکرد و کیفیت علوفه تولیدی تأثیر می‌گذارد (Lamei Hervani, 2013). در آزمایشی مشاهده شد که کشت مخلوط اثر معنی‌داری بر صفات مورد مطالعه گیاه تریتیکاله داشت، بیشترین عملکرد دانه تریتیکاله از کشت خالص و کمترین عملکرد دانه از کشت مخلوط تریتیکاله با ماشک گل‌خوشه‌ای به دست آمد (Salehi *et al.*, 2018). در ارزیابی زراعی، اکولوژیکی و اقتصادی کشت مخلوط گندم با نخود در شرایط دیم مراغه گزارش شد که تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته، عملکرد دانه نخود و تعداد سنبلچه در سنبله، تعداد دانه در سنبله، عملکرد دانه گندم تحت تأثیر الگوهای مختلف کشت قرارگرفتند، به‌طوری‌که بیشترین عملکرد دانه در هر دو گونه به کشت خالص تعلق داشت (Javanmard, Rostami, Nouraein, & Gharekhany, 2016). در بررسی افزایش رشد و عملکرد گندم و باقلا نشان داده شد که تعامل مثبت بین غلات و حبوبات می‌تواند باعث افزایش بهره‌وری سیستم کشت مخلوط شود (Xiao *et al.*, 2018). در پژوهش دیگری که با هدف بررسی آرایش‌های مختلف کشت مخلوط جو و نخود فرنگی بر عملکرد علوفه و شاخص‌های رقابت مورد مطالعه قرار گرفت، بیشترین عملکرد نخودفرنگی (*Pisum sativum* L.) و جو در تیمار خالص مشاهده شد (Nakhzari Moghaddam, 2016). کشت مخلوط لگوم با غله باعث افزایش عملکرد علوفه غله و کاهش عملکرد علوفه لگوم شد. عملکرد بالاتر در کشت خالص غله نسبت به لگوم و کشت مخلوط توسط محققان دیگر نیز گزارش شده است (Awal, Pramanik, & Hossen, 2007).



شکل ۳- مقایسه میانگین عملکرد علوفه خشک ماشک تحت تأثیر روش‌های خاک‌ورزی و نسبت‌های کشت مخلوط با آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد

Figure 3- Comparison of the average yield of dry vetch forage under tillage systems and intercropping ratios with LSD 1%

حروف همسان نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است

Similar letters indicate statitically insignificant differences.

شاخص نسبت برابری زمین

کشت مخلوط ۵۰ درصد ماشک و ۵۰ درصد چاودار در همه سیستم‌های خاک‌ورزی از نسبت برابری زمین (LER) بیشتر از یک برخوردار بود و نسبت‌های تراکمی دیگر، مقادیر عددی پایین‌تری نسبت به ترکیب ذکرشده نشان دادند. بیشترین مقدار نسبت برابری زمین به کشت مخلوط ۵۰ درصد ماشک و ۵۰ درصد چاودار در سیستم خاک‌ورزی کاهشی معادل ۱/۲۸ مربوط بود. کمترین LER کل مربوط به سیستم خاک‌ورزی رایج و تیمار ۷۵ درصد ماشک علوفه‌ای + ۲۵ درصد چاودار و معادل ۰/۸۴ بود (جدول ۴). با توجه به بیشتر بودن LER جزئی چاودار در ترکیب‌های تراکمی برابر دو گیاه (کشت مخلوط ۵۰ درصد ماشک و ۵۰ درصد چاودار) می‌توان نتیجه گرفت که گیاه چاودار تأثیر مثبت بیشتری از کشت مخلوط گرفته است (جدول ۴). نسبت برابری زمین معیاری است که اغلب جهت ارزیابی در مؤثر بودن کشت مخلوط مورد استفاده قرار می‌گیرد. این معیار مساحت زمین تک‌کشتی لازم برای تولید عملکرد برابر با یک هکتار کشت مخلوط را نشان می‌دهد. زمانی‌که LER بیشتر از یک

می‌شود، بدین معنی است که در کشت مخلوط، سودمندی وجود دارد و این موضوع نشان می‌دهد که تسهیل بین گونه‌ای بیشتر از رقابت بین گونه‌ای بوده است. در نقطه مقابل، اگر LER کمتر از یک باشد می‌توان نتیجه گرفت که کشت خالص سودمندی بیشتری دارد، و زمانی‌که این شاخص برابر یک باشد، هیچ‌کدام از این دو نظام نسبت به یکدیگر برتری ندارند (Metwally, Safina, & Noaman, 2015). اختلافات مورفولوژیک گندمیان و لگوم‌ها در نتیجه ایجاد اشکوب‌های مختلف و استفاده مکملی از منابع، بهره‌برداری بهتر از نور و یا افق‌های مختلف خاک می‌تواند دلیل نسبت برابری زمین بزرگ‌تر از یک باشد (Xiao *et al.*, 2018). علاوه‌بر این، نتایج تحقیقات نشان داده است که برتری اکولوژیک کشت مخلوط، نتیجه استفاده کارآمد از منابع رشد است. اجزای مخلوط ممکن است از نظر استفاده از منابع رشد تفاوت داشته باشند و درصورتی‌که با هم کاشته شوند، استفاده مؤثرتری از منابع موجود نسبت به کشت جداگانه خواهند داشت. به عبارت دیگر، برتری بیولوژیک زراعت مخلوط به کشت خالص وقتی است که رقابت بین گونه‌ای برای منابع رشد نسبت به رقابت درون گونه‌ای کمتر باشد. اگر رقابت بین گونه‌ها شدید نباشد، کشت مخلوط بر تک کشتی برتری دارد (Metwally *et al.*, 2015).

تفاوت در میزان توسعه عمقی و جانبی و همچنین افزایش تراکم ریشه‌ها در کشت مخلوط، باعث افزایش میزان جذب عناصر غذایی در مقایسه با کشت خالص می‌شود (Budakli & Celik, 2014) و این مسئله سبب افزایش تولید و به دنبال آن، افزایش نسبت برابری زمین می‌شود. همچنین علت افزایش LER را می‌توان به اختلافات مورفولوژیک و فیزیولوژیک بین گونه‌ها، تثبیت نیتروژن در خاک توسط گیاه لگوم و بهبود شرایط محیطی برای جزء دیگر مخلوط، استفاده بهتر از منابع محیطی، بهبود کارآیی مصرف نور، کاهش فشار رقابتی بین دو گونه و زیست‌توده علف‌های هرز نسبت داد (Fateh,Tarighi, & Aynehband, 2018). افزایش نسبت برابری زمین در کشت مخلوط توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (Xiao *et al.*, 2018). پوریوسف و علیزاده (Pooryousef & Nakhzari Moghaddam, 2016)، نخزری مقدم (Alizadeh, 2018)، عاشوری و همکاران (Ashoori, Abdi, Golzardi, Ajali, & Ilkaee, 2021) و ربیعی و فرحدهر (Rabiee & Farahdahr, 2020) نیز سودمندی کشت مخلوط را به کشت خالص گزارش نموده‌اند.

جدول ٤- مقایسه تیمارهای کشت مخلوط در سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی با استفاده از شاخص نسبت برابری زمین

Table 4- Comparison of intercropping treatments in different tillage systems using the index of land equivalent ratio

تیمارها Treatments		سهم چاودار LER_{Rye}	سهم ماشک LER_{Vetch}	کل LER_{Total}
بدون خاک‌ورزی No tillage	ماشک ۷۵٪ + چاودار ۲۵٪ Vetch 75%+Rye 25%	0.24	0.64	0.88
	ماشک ۵۰٪ + چاودار ۵۰٪ Vetch 50%+Rye 50%	0.58	0.54	1.12
	ماشک ۲۵٪ + چاودار ۷۵٪ Vetch 25%+Rye 75%	0.80	0.21	1.01
کم‌خاک‌ورزی Reduced tillage	ماشک ۷۵٪ + چاودار ۲۵٪ Vetch 75%+Rye 25%	0.29	0.65	0.94
	ماشک ۵۰٪ + چاودار ۵۰٪ Vetch 50%+Rye 50%	0.73	0.55	1.28
	ماشک ۲۵٪ + چاودار ۷۵٪ Vetch 25%+Rye 75%	0.81	0.18	0.99
خاک‌ورزی متداول Conventional tillage	ماشک ۷۵٪ + چاودار ۲۵٪ Vetch 75%+Rye 25%	0.27	0.57	0.84
	ماشک ۵۰٪ + چاودار ۵۰٪ Vetch 50%+Rye 50%	0.71	0.55	1.26
	ماشک ۲۵٪ + چاودار ۷۵٪ Vetch 25%+Rye 75%	0.88	0.19	1.07

مقایسه میانگین صفات مرتبط با کیفیت علوفه

درصد خاکستر کل

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که روش‌های مختلف خاک‌ورزی از لحاظ درصد خاکستر کل علوفه دارای اختلاف معنی‌داری هستند (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که روش کم‌خاک‌ورزی دارای بیشترین (۵/۷۹ درصد) و تیمار بدون خاک‌ورزی دارای کمترین

(۵/۷۵ درصد) درصد خاکستر بودند (شکل ۴). به نظر می‌رسد که سیستم خاک‌ورزی حداقل از طریق افزایش مواد آلی سبب بالا رفتن سطح عناصر غذیی در خاک می‌شود که به تبع آن میزان خاکستر علوفه افزایش یافته است. نتایج یک بررسی نشان داد که علوفه‌های تولیدشده در شرایط خاک‌ورزی کاهش‌یافته دارای تعادل عناصر معدنی مطلوب‌تری هستند که منجر به افزایش محتوای خاکستر در مقایسه با علوفه‌هایی که تحت نظام‌های خاک‌ورزی رایج رشد می‌کنند، می‌شود (Nurjaya & Agung, 2012).

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که درصد خاکستر در ترکیب تراکمی ۷۵ درصد ماشک و ۲۵ درصد چاودار نسبت به سایر ترکیب‌ها با مقدار ۶/۰۳ گرم بیشترین مقدار بود که با ترکیب تراکمی ۵۰ درصد ماشک و ۵۰ درصد چاودار اختلاف معنی‌داری نداشت، ولی با سایر ترکیبات تراکمی از اختلاف معنی‌داری برخوردار بود (شکل ۵). درصد خاکستر علوفه، میزان مواد معدنی موجود در بافت‌های گیاهی را نشان می‌دهد و از عوامل تأثیرگذار بر کیفیت علوفه است. هرچه جذب عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن، بیشتر باشد، این عناصر سبب رشد بهتر ریشه و گسترش بیشتر آن در خاک می‌گردند که این امر سبب جذب بیشتر مواد معدنی و افزایش خاکستر کل می‌شود (Fateh *et al.*, 2018). به نظر می‌رسد که درصد خاکستر در کشت مخلوط به‌دلیل مکمل بودن اجزای کشت مخلوط در جذب عناصر غذایی افزایش می‌یابد. فاتح و همکاران (Fateh *et al.*, 2018) نشان دادند که کشت مخلوط جو و شنبلیله، میزان خاکستر علوفه را نسبت به کشت خالص گیاه دارای خاکستر کم، افزایش و نسبت به کشت خالص گیاه دارای خاکستر زیاد، کاهش می‌دهد. از طرف دیگر، احمدی، فاتح و همکاران (Ahmadi, Fateh, & Aynehband, 2019) بیان کردند که با افزایش درصد ماشک گل‌خوشه‌ای در نسبت‌های کاشت، بر میزان خاکستر علوفه افزوده می‌شود. نتایج آزمایش عموری و همکاران (Amori, Roshanfekr, & Hasibi, 2017) نشان داد که هر چه سهم یولاف در کشت مخلوط بیشتر بود از درصد خاکستر علوفه کاسته شد، ولی این حالت برای گیاه ماشک بالعکس بود؛ به‌طوری‌که با افزایش سهم ماشک در کشت مخلوط، درصد خاکستر علوفه افزایش یافت. در برخی بررسی‌های صورت‌گرفته با مقایسه جداگانه، میزان خاکستر هر یک از گیاهان خانواده غلات و بقولات موجود در مخلوط، با افزایش درصد غله، میزان خاکستر علوفه کاهش و در بقولات افزایش یافته است. در کشت مخلوط غلات و بقولات اکثراً با افزایش میزان بقولات در ترکیب، روند کاهشی میزان خاکستر علوفه قابل مشاهده است که از جمله دلایل ذکرشده محققان می‌توان به استفاده بهتر غلات از منابع و عناصر غذایی در کشت مخلوط اشاره کرد (Pakgohar, Ghanbari, & Farahbakhsh, 2014).

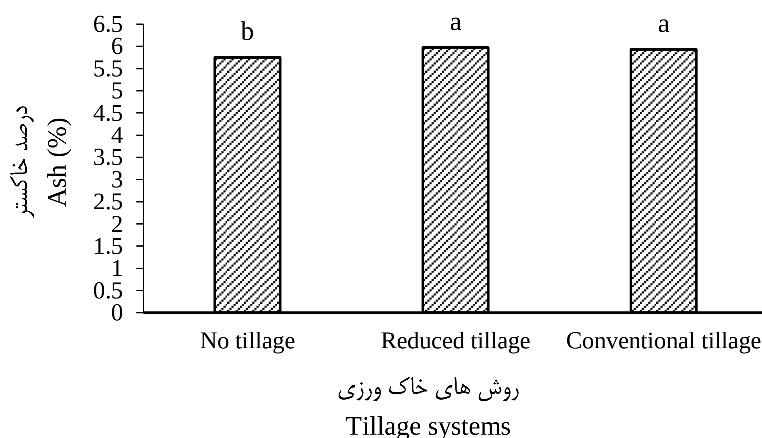
جدول ۵- تجزیه واریانس صفات مرتبط با کیفیت علوفه تحت اثر روش‌های خاک‌ورزی و الگوی کشت دو گیاه چاودار و ماشک

Table 5- ANOVA for traits related to forage quality affected by tillage systems and the planting pattern of rye and vetch

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares			
		خاکستر Ash	الیاف نامحلول در شوینده اسیدی Acid detergent fiber	الیاف نامحلول در شوینده خنثی Neutral detergent fiber	ماده خشک قابل‌هضم Digestible dry matter
بلوک Replication	2	6.15^{*}	41.8^{ns}	11.4^{ns}	301.4^{ns}
سیستم خاک‌ورزی Tillage systems (T)	2	18.02^{**}	23.8^{**}	61.5^{*}	1494.7^{*}
خطای ۱ Error 1	4	0.72	6.36	4.6	177.2
الگوی کشت Planting pattern (P)	3	8.86^{*}	59.39^{*}	38.8^{*}	752.1^{*}
خاک‌ورزی × الگوی کشت T×P	6	4.44^{ns}	9.2^{ns}	6.22^{ns}	279.2^{ns}
خطای ۲ Error 2	18	2.14	20.53	11.00	262.4
ضریب تغییرات C.V (%)	-	2.5	2.5	1.8	3.7

ns و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد را نشان می‌دهد.

ns and **: are non-significant and significant at 1% probability levels, respectively.

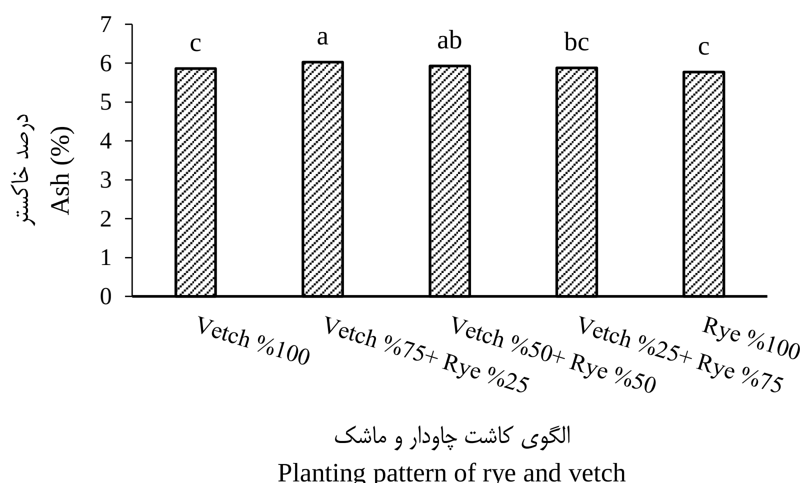


شکل ٤- مقایسه میانگین درصد خاکستر کل متأثر از مختلف روش‌های خاک‌ورزی با آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد

Figure 4- Comparison of the average percentage of total ash affected by different tillage methods with LSD 1%

حروف همسان نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است

Similar letters indicate statitically insignificant differences.



شکل ٥- مقایسه میانگین درصد خاکستر در نسبت‌های اختلاط ماشک و چاودار با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد

Figure 5- Mean comparison of ash percentage in mixing ratios of vetch and rye with LSD 5%

حروف همسان نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است

Similar letters indicate statitically insignificant differences.

در کشت مخلوط افزایشی سورگوم (*Sorghum bicolor* L. Moench) و ارزن مرواریدی (*Pennisetum glaucum* L.)، کاهش درصد خاکستر علوفه را نشان داد که این نتیجه بیانگر اهمیت نوع گیاهان انتخابی در کشت مخلوط می‌باشد، زیرا پایین بودن میزان مواد معدنی موجود در غلات دانه‌ریز، عامل مؤثر در کم شدن میزان خاکستر علوفه حاصل از کشت مخلوط افزایشی این دو گیاه از خانواده غلات است (Ditsch & Bitzer, 2005).

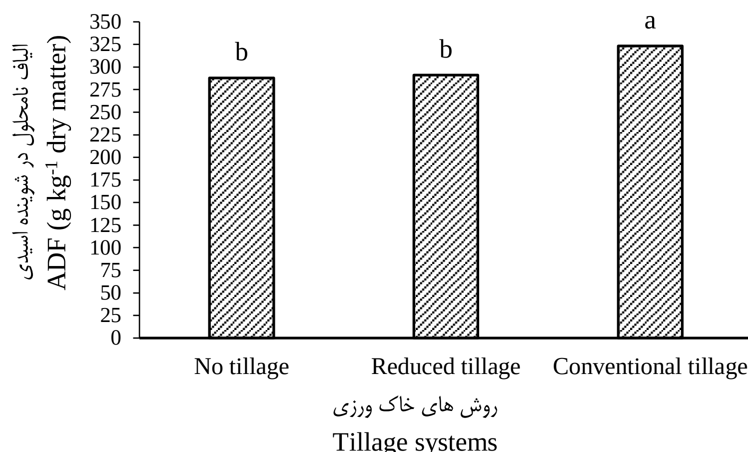
الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (ADF)

الیاف نامحلول در شوینده اسیدی از صفات مهم کیفی علوفه هستند. الیاف نامحلول در شوینده اسیدی به‌عنوان یک معیار شکم پرکن دام، برای پیش‌بینی مصرف اختیاری غذا مورد استفاده قرار می‌گیرد و نشان‌دهنده پتانسیل مصرف علوفه توسط دام است (Salehi *et al.*, 2018). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی روش‌های خاک‌ورزی از لحاظ آماری دارای اختلاف معنی‌دار آماری در سطح احتمال یک درصد بودند (جدول ۵). مقایسه میانگین نیز حاکی از آن بود که روش خاک‌ورزی متداول با میانگین ۳۲۳/۳ گرم بر کیلوگرم ماده خشک دارای بیشترین مقدار الیاف نامحلول در شوینده اسیدی بود و کمترین مقدار آن به روش بدون خاک‌ورزی مربوط بود که با روش کم‌خاک‌ورزی اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۶). نتایج مقایسه میانگین اثر الگوی کشت بر این صفت نشان داد که کشت خالص چاودار دارای بیشترین مقدار الیاف نامحلول با ۳۱۱/۴ گرم بر

کیلوگرم ماده خشک بود. کمترین مقدار الیاف محلول نیز به کشت‌های خالص ماشک و کشت مخلوط ۷۵ درصد ماشک و ۲۵ چاودار تعلق داشت (شکل ۷). ارزیابی مقدار الیاف نامحلول در شوینده اسیدی در کشت مخلوط تریتیکاله با چند لگوم علوفه‌ای یک‌ساله شامل باقلا، نخودفرنگی، ماشک گل‌خوشه‌ای و گاودانه نشان داد که الگوهای مختلف کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص تریتیکاله مقدار الیاف نامحلول در شوینده اسیدی کمتری داشتند و بنابراین از کیفیت علوفه‌ی بالاتری برخوردار بودند (Salehi *et al.*, 2018). نتایج تحقیق احمدی و همکاران (Ahmadi *et al.*, 2019) نشان داد که الیاف نامحلول در شوینده اسیدی در الگوهای مختلف کشت مخلوط در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری داشت. به‌طوری‌که بیشترین الیاف نامحلول در شوینده اسیدی در الگوی کشت افزایشی ۱۰۰ درصد جو: ۱۰ درصد ماشک گل خوشه‌ای و کمترین میزان آن درکشت خالص ماشک گل خوشه‌ای به دست آمد که تفاوت آن‌ها ۱۵/۲درصد بود. آن‌ها با مقایسه الگوهای مختلف کشت مشاهده کردند که هر چه میزان جو در الگوهای کشت بیشتر باشد، ADF آن نیز بیشتر است. به‌طور کلی، با کاهش درصد جو در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط از مقدار این شاخص نیز کاسته شد، علت این کاهش را می‌توان به جایگزینی جو به‌جای ماشک گل‌خوشه‌ای به‌دلیل بیشتر بودن چرخه زندگی آن در مقایسه با ماشک گل‌خوشه‌ای نسبت داد. نتایج مطالعه دیگری بیانگر آن بود که الیاف نامحلول در شوینده اسیدی در مخلوط ذرت – لوبیاچیتی نسبت به کاشت خالص ذرت کمتر بود که دلیل آن، محتوای کمتر ADF در لوبیاچیتی است (Moradi, Asghari, Mohsen-Abadi, & Samiezadeh, 2015). کاهش این صفت در تیمارهای مخلوط با لگوم‌ها، می‌تواند از زیاد بودن سطح برگ و تعداد برگ لگوم‌ها در شرایط سایه ناشی شده باشد، زیرا این گیاهان در شرایط سایه برای افزایش جذب نور، مواد فتوسنتزی بیشتری را به تولید برگ و رشد آن‌ها اختصاص می‌دهند. بنابراین، بر اثر افزایش نسبت برگ به ساقه، مقدار ADF کاهش می‌یابد (Ditsch & Bitzer, 2015).

الیاف نامحلول در شوینده‌های خنثی (NDF)

الیاف نامحلول در شوینده خنثی تحت تأثیر سطوح مختلف خاک‌ورزی و الگوی کشت در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که روش خاک‌ورزی متداول با ۴۶۱/۵ گرم بر کیلوگرم ماده خشک بیشترین مقدار این صفت را داشت و سیستم‌های بدون خاک‌ورزی و کم‌خاک‌ورزی به‌طور معنی‌داری مقادیر کمتری نشان دادند و با هم در یک گروه آماری جداگانه قرار گرفتند (شکل ۸).

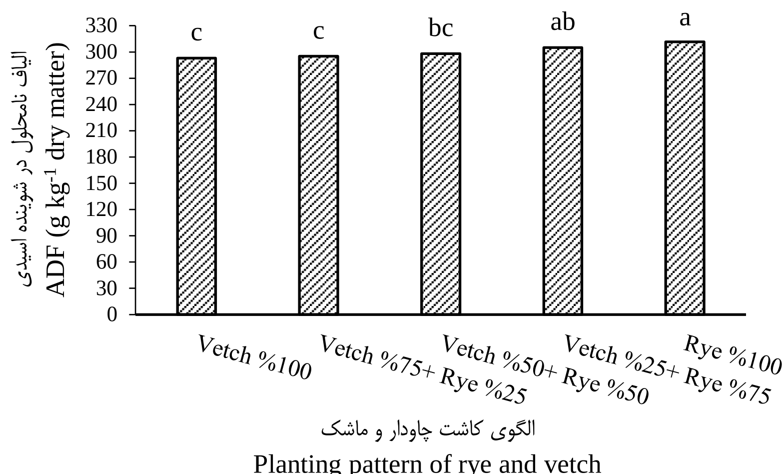


شکل ٦- مقایسه میانگین میزان الیاف نامحلول در شوینده اسیدی تحت تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی با آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد

Figure 6- Mean comparison of acid detergent fiber (ADF) affected by different tillage systems with LSD 1%

حروف همسان نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است

The same letters indicate statitically insignificant differences.



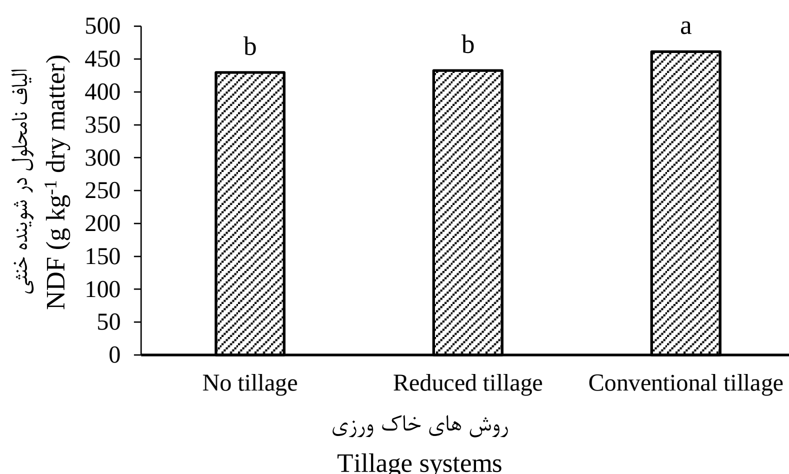
شکل ۷- مقایسه الیاف نامحلول در شوینده اسیدی متأثر از نسبت‌های اختلاط تراکمی ماشک و چاودار با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد

Figure 7- Mean comparison of acid detergent fiber (ADF) affected by mixing ratios of vetch and rye with LSD 5%

حروف همسان نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است

The same letters indicate statitically insignificant differences.

نتایج مقایسات میانگین اثر الگوی کشت بر الیاف نامحلول در شوینده خنثی نشان داد که کشت خالص چاودار با مقدار ۴۶۶/۵ گرم بر کیلوگرم ماده خشک بیشترین مقدار این صفت را داشت و در مقایسه با سایر نسبت‌های تراکمی اختلاف معنی‌دار آماری داشت. تیمارهای اختلاط تراکمی و کشت خالص ماشک در یک گروه آماری قرار گرفتند (شکل ۹). در خاک‌ورزی رایج به‌واسطه سست شدن خاک سطحی، بهبود تهویه خاک، تسریع در تجزیه مواد آلی و رهاسازی عناصر غذایی مانند کلسیم و افزایش رشد جانبی و شاخه‌دهی سبب افزایش بافت‌های ساختاری می‌شود و گیاه فرصت بیشتری برای انباشت الیاف سلولزی و نامحلول پیدا می‌کند که به تبع آن کیفیت علوفه کاهش پیدا می‌کند (Idowu, Sultana, Darapuneni, Beck, & Steiner, 2019). برخلاف این نتیجه، در پژوهش انجام‌شده در هندوستان مشاهده شد که روش خاک‌ورزی رایج، از طریق کاهش چگالی ظاهری و افزایش تخلخل باعث بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک و افزایش رشد رویشی گیاه می‌شود که در نتیجه آن، کیفیت علوفه بهبود می‌یابد (Saha, Chakraborty, Sharma, & Kalra, 2010). به نظر می‌رسد که دلیل این اختلاف در اثرات خاک‌ورزی رایج به میزان بارندگی زیاد در هندوستان مربوط باشد، به‌طوری‌که روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی به‌واسطه افزایش بیش از حد رطوبت در خاک، شرایط رشد گیاه را نامناسب می‌سازند. صالحی و همکاران (Salehi *et al.*, 2018) در بررسی کشت مخلوط تریتیکاله با چند لگوم علوفه‌ای یک‌ساله بیان داشتند که کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص تریتیکاله، از طریق کاهش NDF و ADF، کیفیت علوفه را بهبود بخشیده است. نتایج سایر محققان نیز حاکی از پایین بودن میزان NDF درکشت مخلوط نسبت به کشت خالص بوده است (Favre, Castiblanco, Combs, Wattiaux, & Picasso 2019). فاتح و همکاران (Fateh *et al.*, 2018) با مقایسه نسبت‌های مختلف کشت نشان دادند که هر چه میزان جو در نسبت‌های کشت بیشتر باشد، NDF آن بیشتر است که نشان‌دهنده کاهش کیفیت علوفه مخلوط بوده و هرچه درصد جو در مخلوط کاهش پیدا کند، کیفیت علوفه افزایش پیدا می‌کند. با افزایش محتوی فیبر در علوفه، میزان خشبی بودن بیشتر و قابلیت هضم و خوش‌خوراکی آن کمتر می‌شود (Bakhtiyari, Zamanian, & Golzardi, 2020). افزایش نسبت شبدر به سورگوم در کشت مخلوط، باعث کاهش محتوی همی‌سلولز و الیاف نامحلول در شوینده خنثی در علوفه شد که می‌تواند با بالاتر بودن محتوی الیاف نامحلول در شوینده خنثی و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی در گیاه سورگوم نسبت به شبدر مرتبط باشد (Ashoori *et al.*, 2021). نتایج پژوهش دیگری نشان داد که محتوی الیاف نامحلول در شوینده خنثی در شبدر کمتر از گندم و در کشت مخلوط آن‌ها متوسط بود (Contreras-Govea, Albrecht, & Muck, 2006). محققان گزارش کردند که کشت مخلوط شبدر قرمز با علف گندمی (*Thinopyrum intermedium*) در مقایسه با کشت خالص باعث کاهش محتوی الیاف نامحلول در شوینده خنثی و در نتیجه افزایش پتانسیل مصرف علوفه توسط دام شد (Favre *et al.*, 2019).

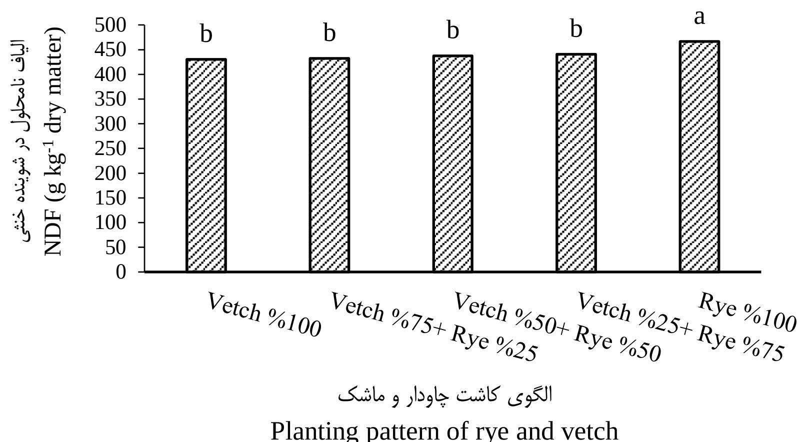


شکل ۸- مقایسه میانگین الیاف نامحلول در شوینده خنثی متأثر از روش‌های مختلف خاک‌ورزی با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد

Figure 8- Mean comparison of neutral detergent fiber (NDF) affected by different tillage systems with LSD 5%

حروف همسان نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است

Similar letters indicate statitically insignificant differences.



شکل ۹- مقایسه میانگین الیاف نامحلول در شوینده خنثی در نسبت‌های اختلاط تراکمی ماشک و چاودار با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد

Figure 9- Mean comparison of neutral detergent fiber (NDF) affected by mixing ratios of vetch and rye with LSD 5%

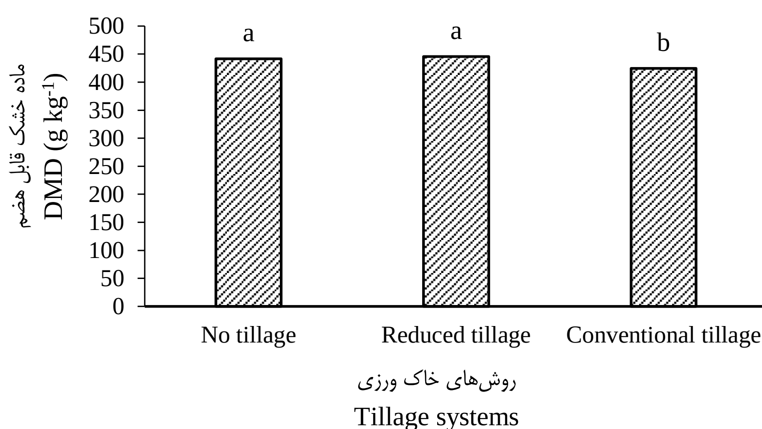
حروف همسان نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است

Similar letters indicate statitically insignificant differences.

ماده خشک قابل هضم (DMD)

نتایج تجزیه واریانس داده‌های آزمایش نشان داد که قابلیت هضم گیاهان چاودار و ماشک تحت تأثیر اثرات اصلی سیستم خاک‌ورزی و الگوی کشت در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که سیستم کم خاک‌ورزی با ۴۴۵/۶ گرم بر کیلوگرم دارای بیشترین مقدار ماده خشک قابل هضم گیاهان چاودار و ماشک بود که با مقدار این صفت در تیمار بدون خاک‌ورزی در سطح مشابه آماری قرار داشتند (شکل ۱۰). بالاترین قابلیت هضم به تیمارهای کشت خالص ماشک و اختلاط تراکمی ۷۵ درصد ماشک و ۲۵ درصد چاودار (۴۵۰ گرم بر کیلوگرم) مربوط بود که با تیمار اختلاط تراکمی ۵۰ درصد ماشک و ۵۰ درصد چاودار اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۱۱). در تحقیقی مشخص گردید که روش‌های مختلف خاک‌ورزی بر خصوصیات مورفولوژیک محصول تأثیر معنی‌داری دارند و در سیستم کم‌خاک‌ورزی، خصوصیات مورفولوژیک گیاه نسبت به روش معمول خاک‌ورزی بهبود می‌یابد (Rashidi & Keshavarzpour, 2007). نتایج مطالعه خان و همکاران (Khan, Biswas, Kundu, Jana, & Bandopadhyay,

2021) نشان داد که سامانه‌های خاک‌ورزی حفاظتی مانند شخم حداقل در مقایسه با خاک‌ورزی متداول به بهبود کیفیت علوفه منجر می‌شوند. آن‌ها بهبود کیفیت علوفه را به حفظ رطوبت بیشتر در سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی نسبت دادند که به رشد بیشتر برگ‌ها منجر می‌شود. از هضم‌پذیری اغلب به‌عنوان ارزشمندترین سنجش کیفیت علوفه نام برده می‌شود، زیرا ارتباط نزدیکی با عملکرد دام دارد. قابلیت هضم علوفه به ترکیبات شیمیایی علوفه بستگی دارد. متغیرهای افزایش کیفیت علوفه (نیتروژن، پروتئین خام و مواد معدنی) و متغیرهای کاهنده کیفیت علوفه الیاف خام، الیاف نامحلول در شوینده خنثی (NDF) و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (ADF) بر هضم‌پذیری علوفه تأثیر دارند. در آزمایشی با هدف بررسی کیفیت و کمیت علوفه در سیستم کشت مخلوط ماشک و تریتیکاله انجام شد، نتایج نشان داد که ترکیب ۲۵ درصد تریتیکاله و ۷۵ درصد ماشک و همچنین ترکیب ۵۰ درصد ماشک و ۵۰ درصد تریتیکاله دارای بیشترین کیفیت علوفه و بیشترین مقدار علوفه قابل هضم بودند (Shahbazi *et al*., 2022).

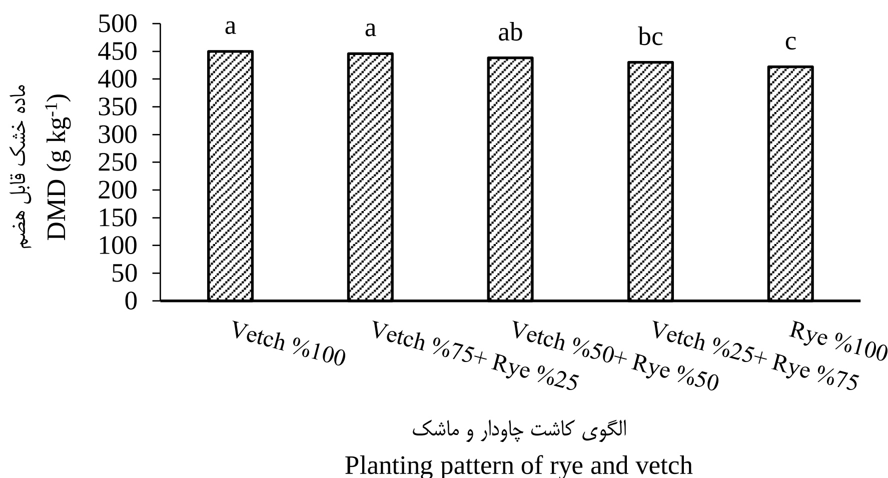


شکل ۱۰- مقایسه میانگین ماده خشک قابل هضم در روش‌های مختلف خاک‌ورزی با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد

Figure 10- Mean comparison of DMD (Digestible Dry Matter) in different tillage systems with LSD 5%

حروف همسان نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است.

The same letters indicate statitically insignificant differences.



شکل ۱۱- مقایسه میانگین ماده خشک قابل هضم در نسبت‌های اختلاط تراکمی ماشک و چاودار با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد

Figure 11- Mean comparison of DMD (Digestible Dry Matter) affected by mixing ratios of vetch and rye with LSD 5%

حروف همسان نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است.

The same letters indicate statitically insignificant differences.

نتایج پژوهشی نشان داد که ماده خشک قابل هضم در تیمارهـای کشت خالص جو و کشت مخلوط و همچنـین بـین تیمارهـای کشـت خالص خردل و کشت مخلوط فاقد اختلاف معنی‌دار آماری بودنـد. بـا افزایش نسبت خردل در تیمارهای کشـت مخلـوط جـایگزین، درصـد ماده خشک قابل هضم به‌دلیل پایین بـودن نسـبت عملکـرد جـو بـه عملکرد خـردل، کـاهش جزئـی یافـت (Nakhzari Moghaddam, 2014). با وجود گزارش‌های متـداول مبنـی بـر هضـم‌پذیری بیشـتر بقولات نسبت به غلات، تفاوت میزان هضم‌پذیری انواع بقـولات نیـز توسط برخی محققان گزارش شده است. محققـان در مطالعـه کشـت مخلوط بقولات و گندمیان، به بالا بودن میزان قابلیـت هضـم غـلات نسبت به برخی از بقولات مانند ماشک معمولی اشاره کرده‌انـد کـه از دلایل آن می‌توان به کمتر بودن میزان لیگنین موجود در غلات مورد مطالعه نسبت به لیگنین ماشک معمـولی و در نتیجـه، پـایین بـودن میـزان الیـاف نـامحلول در شـوینده‌های اسـیدی غـلات اشـاره کـرد (Lithourgidis *et al.*, 2021). محققـان دیگـری در بررسـی تـأثیر کشت مخلوط ذرت و سویا بـر میـزان مـاده خشـک و جـذب عناصـر غذایی علوفه، افزایش میزان قابلیـت هضـم مـاده خشـک علوفـه بـا افزایش سویا در سیستم کشت مخلوط با ذرت را گزارش کردند کـه از دلایل آن به افزایش میزان غلظت پروتئین حاصل از افزودن سـویا در مخلوط اشاره شده است (Baghdadi *et al.*, 2016).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از بررسی عملکرد و کیفیت علوفه در کشت مخلـوط ماشک و چاودار نشان داد که بالاترین عملکرد علوفه خشـک چـاودار در تیمـار ۷۵ درصـد چـاودار و ۲۵ درصـد ماشـک در سیسـتم‌های خاک‌ورزی متداول و کاهش‌یافته حاصل شد. بیشترین نسبت برابـری زمین در همه تیمارهای خاک‌ورزی در تیمـار ۵۰ درصـد چـاودار و ۵۰ درصد ماشک حاصل گردید. کیفیت علوفـه حاصـل نیـز تحـت تـأثیر سیستم خاک‌ورزی و نسبت‌های کشت مخلوط قرار گرفـت. بیشـترین مقادیر خاکستر علوفه، الیاف نامحلول در شوینده اسـیدی و خنثـی بـه سیستم خاک‌ورزی رایج مربوط بود. همچنین بیشـترین مقـدار الیـاف نامحلول در شوینده خنثی و اسیدی در کشت خـالص چـاودار حاصـل شد و با افزایش نسبت ماشک، مقدار الیـاف نـامحلول کـاهش یافـت. خاکستر علوفه در تیمار کشت مخلوط با ترکیب ۷۵ درصـد ماشـک و ۲۵ درصد چاودار بیشتر از سایر نسبت‌های کشت مخلوط بود. با توجـه به نتایج آزمایش حاضر، به‌منظور حصول حـداکثر عملکـرد و افـزایش کیفیت علوفه، برتری کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی را در رابطه با محصولات مورد مطالعه به‌وضوح نشان داد.

References

1. Afzalinia, S., & Karami, A. (2018). Effect of conservation tillage on soil properties and corn yield in the corn-wheat rotation. *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, *49*(1), 129-137. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/ijbse.2017.243058.664995
2. Ahmadi, S., Fateh, E., & Aynehband, A. (2019). The effect of different barley and hairy vetch row intercropping sowing pattern and phosphorus fertilizer on dry matter production and forage quality. *Electronic Journal of Crop Production*, *11*(4), 89-102. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22069/ejcp.2019.14529.2098
3. Akhtar, M. F. U. Z., Jamil, M., Ahamd, M., & Abbasi, G. H. (2017). Evaluation of biofertilizer in combination with organic amendments and rock phosphate enriched compost for improving productivity of chickpea and maize. *Soil and Environment, 36*(1), 59-69.
4. Amori, A., Roshanfekr, H., & Hasibi, P. (2017). The study of mixcropping on row of oat and vetch in Ahvaz. *Journal of Crops Improvement*, *19*(2), 303-317. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/jci.2017.60414
5. Ansar, M., Ahmed, Z. I., Malik, M. A., Nadeem, M., Majeed, A., & Rischkowsky, B. A. (2010). Forage yield and quality potential of winter cereal-vetch mixtures under rainfed conditions. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, *22*(1), 25-36. https://doi.org/10.9755/ejfa.v22i1.4904
6. AOAC. (1990). Official Methods of Analysis of AOAC International. AOAC International.
7. Asadi, S., Rezaei-Chiyaneh, E., & Amirnia, R. (2019). Effect of planting pattern and fertilizer source on agronomic characteristics of linseed (*Linum usitatissimum* L.) and chickpea (*Cicer arietinum* L.) in intercroppng under rainfed conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*, *21*(1), 16-30. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.29252/abj.21.1.16
8. Ashoori, N., Abdi, M., Golzardi, F., Ajali, J., & Ilkaee, M. N. (2021). Forage potential of sorghum-clover intercropping systems in semi-arid conditions. *Bragantia*, *80*, e1421. https://doi.org/10.1590/1678-4499.20200423
9. Awal, M. A., Pramanik, M. H. R., & Hossen, M. A. (2007). Interspecies competition, growth and yield in barley-peanut intercropping. *Asian Journal of Plant Sciences*, *6*(4), 577-584. https://doi.org/10.3923/ajps.2007.577.584
10. Baghdadi, A., Halim. R. A, Ghasemzadeh, A., & Ebrahimi, M. (2016). Effect of intercropping of corn and soyabean on dry matter yield and nutritive value of forage corn. *Legume Research*, *39*(6), 976-981.

https://doi.org/10.18805/lr.v39i6.6643
11. Bagnall, D. K., Jones, E. J., Balke, S., Morgan, C. L., & McBratney, A. B. (2020). An *in situ* method for quantifying tillage effects on soil structure using multistripe laser triangulation. *Geoderma*, *380*, 1-9. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114642
12. Bakhtiyari, F., Zamanian, M., & Golzardi, F. (2020). Effect of mixed intercropping of clover on forage yield and quality. *South-Western Journal of Horticulture, Biology and Environment, 11*(1), 49-65.
13. Budakli Carpici, E., & Celik, N. (2014). Forage yield and quality of common vetch mixtures with triticale and annual ryegrass. *Turkish Journal of Field Crops, 19*(1), 66-69.
14. Chaghazardi, H., Jahansuz, M. R., Ahmadi, A., & Gorji, M. (2016). Study of different tillage methods on some soil properties, seed yield and morphological traits of wheat and chickpea under rainfed conditions of Sarpolezahab region. *Journal of Crops Improvement*, *18*(3), 581-594. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/jci.2016.56622
15. Contreras-Govea, F. E., Albrecht, K. A., & Muck, R. E. (2006). Spring yield and silage characteristics of kura clover, winter wheat, and in mixtures. *Agronomy Journal*, *98*(3), 781-787.
16. Dehghanian, H., Barmaki, M., Dabbagh Mohamadi Nasab, A., & Seifdavati, J. (2020). Grass pea (*Lathyrus sativus* L.)-cereal intercropping: Evaluation of productivity and some indices of forage quality. *Agricultural Science and Sustainable Production*, *30*(3), 61-76. (in Persian with English abstract). https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.24764310.1399.30.3.4.9
17. Ditsch, D. D., & Bitzer, M. J. (2005). Managing small grains for livestock forage. Department of Agronomy. University of Kent. Available at: https://forages.ca.uky.edu/files/small_grains_for_forage_agr160.pdf.
18. Du, J. B., Han, T. F., Gai, J. Y., Yong, T. W., Xin, S. U. N., Wang, X. C., & Yang, W. Y. (2018). Maize-soybean strip intercropping: Achieved a balance between high productivity and sustainability. *Journal of Integrative Agriculture*, *17*(4), 747-754. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61789-1
19. Ehsanifar, A. R., Dahmardeh, M., & Khammari, I. (2015). Effect of different tillage systems on yield and yield components in cowpea-millet intercropping. *Indian Journal of Science and Technology*, *8*(11), 1-8. https://doi.org/10.17485/ijst/2015/v8i11/71779
20. Fateh, E., Tarighi, S., & Aynehband, A. (2018). The effect of different barley (*Hordeum vulgare*) and fenugreek (*Trigonella foenum- graecum*) intercropping planting ratio under nitrogen fertilizer on dry matter quality and quantity. *Crop Production*, *11*(1), 23-35. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22069/ejcp.2018.12601.1982
21. Favre, J. R., Castiblanco, T. M., Combs, D. K., Wattiaux, M. A., & Picasso, V.D. (2019). Forage nutritive value and predicted fiber digestibility of Kernza intermediate wheatgrass in monoculture and in mixture with red clover during the first production year. *Animal Feed Science and Technology*, *258*, 114-298. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.114298
22. Gozubuyuk, Z., Sahin, U., Ozturk, I., Celik, A., & Adiguzel, M.C. (2014). Tillage effects on certain physical and hydraulic properties of a loamy soil under a crop rotation in a semi-arid region with a cool climate. *Catena*, *118*, 195-205. https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.01.006
23. Heidari, G., Mohammadi, K., & Sohrabi, Y. (2016). Responses of soil microbial biomass and enzyme activities to tillage and fertilization systems in soybean (*Glycine max* L.) production. *Frontiers in Plant Science*, *7*, 17-30. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01730
24. Heydarpour, N., Namdari, A., & Baghbani-Arani, A. (2018). Evaluation of quantitative yield and some physical properties of soil in three years mixed barley (Khorram)-vetch forage (*Vicia sativa*) cropping system under rain-fed conditions. *Agricultural Science and Sustainable Production*, *28*(4), 1-14. (in Persian with English abstract).
25. Idowu, O. J., Sultana, S., Darapuneni, M., Beck, L., & Steiner, R. (2019). Short-term conservation tillage effects on corn silage yield and soil quality in an irrigated, arid agroecosystem. *Agronomy*, *9*(8), 455. https://doi.org/10.3390/agronomy9080455
26. Indoria, A. K., Srinivasa-Rao, C., Sharma, K. L., & Sammi-Reddy, K. (2017). Conservation agriculture–A panacea to improve soil physical health. *Current Science*, *112*(52), 52-61.
27. Issaka, F., Zhang, Z., Zhao, Z.Q., Asenso, E., Li, J. H., Li, Y. T., & Wang, J. J. (2019). Sustainable conservation tillage improves soil nutrients and reduces nitrogen and phosphorous losses in maize farmland in Southern China. *Sustainability*, *11*(8), 1-13. https://doi.org/10.3390/su11082397
28. Javanmard, A., Dabbagh-Mohammadi-Nasab, A., Javanshir, A., Moghaddam, M., & Janmohammadi, H. (2009). Forage yield and quality in intercropping of maize with different legumes as double-cropped. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, *7*(1), 163-166.
29. Javanmard, A., Nouri, M., Ostadi, A., Rebati, J., Nouraein, M., & Shabahang J. (2022). The effects of different tillage systems and fertilizer resources on the growth, yield component, and economic efficiency of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under rainfed condition. *Journal of Agroecology*, *14*(2), 251-274. https://doi.org/10.22067/agry.2021.20326.0
30. Javanmard, A., Rostami, A., Nouraein, M., & Gharekhany, G. (2016). Agronomical, ecological and economical

evaluation of wheat-chickpea intercropping under rainfed condition of Maragheh. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *26*(1), 19-37. (In Persian with English Summary).
31. Khan, R., Biswas, S., Kundu, C. K., Jana, K., & Bandopadhyay, R. R. P. (2021). Effect of conservation tillage practices on growth attributes of different fodder crops and soil moisture depletion. *International Journal of Chemical Studies*, *9*(1), 1846-1852. https://doi.org/10.22271/chemi.2021.v9.i1z.11494
32. Lamei Hervani, J. (2013). Assessment of dry forage and crude protein yeilds, competition and advantage indices in mixed cropping of annual forage legume crops with barley in rainfed comditions of Zanjan province in Iran. *Seed and Plant Production Journal*, *29*(2), 169-183. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/sppj.2017.110508
33. Lithourgidis, A. S., Vlachostergios, D. N., Dordas, C. A., & Damalas, C. A. (2021). Dry matter yield, nitrogen content, and competition in pea–cereal intercropping systems. *European Journal of Agronomy*, *34*(4), 287-294. https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.02.007
34. Metwally, A. A., Safina, S. A., & Noaman, A. H. (2015). Yield and land equivalent ratio of intercropping maize with Egyptian cotton. *Journal of Agri-Food and Applied Sciences*, *3*(4), 85-93.
35. Mohavieh Asadi, N., Bijanzadeh, E., Behpouri, A., & Barati, V. (2020). Effect of relay intercropping of chickpea (*Cicer arietinum* L.) with barley (*Hordeum vulgare* L.) on biochemical traits and yield under late season drought stress. *Iranian Journal Pulses Research*, *11*(2), 164-182. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.v11i2.78361
36. Moradi, P., Asghari, J., Mohsen-Abadi, G.R., & Samiezadeh, H. (2015). Evaluation of forage quantity and quality in intercropping maize with pinto bean and naked pumpkin. *Journal of Crops Improvement*, *17*(3), 683-699. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/jci.2015.54379
37. Nakhzari Moghaddam, A. (2014). The yield and forage quality of intercropping barley and mustard in different planting dates. *Journal of Crop Production*, *5*(4), 173-190. (in Persian with English abstract). https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.2008739.1391.5.4.10.5
38. Nakhzari Moghaddam, A. (2016). Effects of nitrogen and different intercropping arrangements of barley (*Hordeum vulgare* L.) and pea (*Pisum sativum* L.) on forage yield and competitive indices. *Journal of Agroecology*, *8*(1), 47-58. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jag.v8i1.12534
39. Neugschwandtner, R. W., & Kaul, H. P. (2015). Nitrogen uptake, use and utilization efficiency by oat–pea intercrops. *Field Crops Research*, *179*, 113-119. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.04.018
40. Nurjaya, I. G. M. O., & Agung, I. G. A. M. S. (2012). Effects of tillage on forage legumes growth and subsequent dry matter yields of corn planted for livestock feeding. *American Journal of Experimental Agriculture*, *2*(4), 616-625. https://doi.org/10.9734/AJEA/2012/1660
41. Oddy, V. H., Robards, G. E., & Low, S. G. (1983). Prediction of *in vivo* dry matter digestibility from the fibre and nitrogen content of a feed. In 'Feed Information and Animal Production'. G. E. Robards, & R. G. Packham (Eds). pp. 395–398.
42. Oehl, F., & Koch, B. (2018). Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in no-till and conventionally tilled vineyards. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, *91*, 56–60. http://dx.doi.org/10.5073/JABFQ.2018.091.008
43. Pakgohar, N., Ghanbari, A., & Farahbakhsh, A. (2014). Investigation of quantitative and qualitative characteristics of green pea (*Lathyrus sativus* L.) and nutrifed millet (*Pennisetum* sp.) forage in different cultivation patterns. *Agroecology*, *6*(1), 108-117. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jag.v6i1.35678
44. Pinnamaneni, S. R., Mubvumba, P., Anapalli, S., & Reddy, K. N. (2022). Cereal rye cover crop impacts on soybean (*Glycine max* L.) root growth and soil properties. *Frontiers in Soil Science*, *2*, 970380. https://doi.org/10.3389/fsoil.2022.970380
45. Pooryousef, M., & Alizadeh, K. (2018). Evaluation of different smooth vetch and winter type barley mix cropping systems under Mahabad cold dryland conditions. *Iranian Journal of Dryland Agriculture*, *7*(1), 1-13. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/idaj.2018.115759.183
46. Rabiee, M., & Farahdahr, F. (2020). Evaluation of yield and advantages of forage legumes with cereals intercropping as second crop in paddy fields. *Plant Productions*, *43*(3), 363-374. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22055/ppd.2019.27838.1689
47. Rashidi, M., & Keshavarzpour, F. (2007). Effect of different tillage methods on soil physical properties and crop yield of watermelon (*Citrullus vulgaris*). *Journal of Agriculture and Biological Sciences*, *2*, 1-16.
48. Renzi, J. P., Chantre, G. R., & Cantamutto, M. A. (2016). Self-regeneration of hairy vetch (*Vicia villosa* Roth) as affected by seedling density and soil tillage method in a semi-arid agroecosystem. *Grass and Forage Science*, *72*(3), 524-533. https://doi.org/10.1111/gfs.12255
49. Saha, S., Chakraborty, D., Sharma, A. R., & Kalra, N. (2010). Effect of tillage and residue management on soil Physical-Indian mustard system. *Indian Journal of Agricultural Science*, *80*(8), 679-685.
50. Salehi, Z., Amirnia, R., Rezaei-Chiyaneh, E., & Khalilvandi-Behrozyar, H. (2018). Evaluation of yield and some

qualitative traits of forage in intercropping of triticale with annual legumes. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *28*(4), 59-76. (in Persian with English abstract).

51. Schillinger, W. F., Young, D. L., Kennedy, A. C., & Paulitz, T. C. 2010. Diverse no-till irrigated crop rotations instead of burning and plowing continuous wheat. *Field Crops Research*, *115*(1), 39-49. http://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.10.001
52. Schlegel, R. H. J. (2013) Rye: Genetics, Breeding, and Cultivation. Boca Raton, FL: Taylor and Francis. 359 pp. https://doi.org/10.1201/b15553
53. Shahbazi, S., Jalilian, J., Alizadeh, K., & Javanmard, A. (2022). Evaluation of chemical and organic-biofertilizer treatments on yield and forage quality of triticale and Maragheh Smoth vetch under sole and intercropping systems in rainfed condition. *Iranian Dryland Agronomy Journal*, *10*(2), 199-226. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/idaj.2022.356297.352
54. Simmons, B. L., & Coleman, D. C. (2008). Microbial community response to transition from conventional to conservation tillage in cotton fields. *Applied Soil Ecology*, *40*, 518-528. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2008.08.003
55. Sori, S., Amirnia, R., Rezaei-Chiyaneh, E., & Sheikh, F. (2020). Evaluation of yield and yield components of different faba bean (*Vicia faba* L.) varieties in intercropping with triticale (*Tritico secale*). *Journal of Agroecology*, *12*(1), 143-159. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jag.v12i1.81918
56. Stagnari, F., Maggio, A., Galieni, A., & Pisante, M. (2017). Multiple benefits of legumes for agriculture sustainability: an overview. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, *4*(2), 1-13. https://doi.org/10.1186/s40538-016-0085-1
57. Toreifi, S. H., Fateh, E., & Aynehband, A. (2018). Effect of different barley (*Hordeum vulgare*) and fenugreek (*Trigonella foenum- graecum*) intercropping planting ratio and nitrogen fertilizer on dry matter quality and quantity. *Journal of Crop Production*, *11*(1), 23-35. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22069/ejcp.2018.12601.1982
58. Van der Werf, W., Zhang, L., Li, C., Chen, P., Feng, C., Xu, Z., Zhang, C., Gu, C,. Bastiaans, L., Makowski, D., & Stomph, T. J. (2021). Comparing performance of crop species mixtures and pure stands. *Frontiers* of *Agricultural Science and Engineering*, *8*, 481–489. https://doi.org/10.15302/J-FASE-2021413
59. Van Soest, P. J., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, *74*(10), 3583-3597. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2
60. Xiao, J. X., Yin, X. H., Ren, J. B., Zhang, M., Tang, L., & Zheng, Y. (2018). Complementation drives higher growth rate and yield of wheat and savesnitrogen fertilizer in wheat and faba bean intercropping. *Field Crops Research*, *221*, 119–129. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.12.009
61. Yilmaz, S., Atak, M., & Erayman, M. (2008). Identification of advantages of maize – legume intercropping over solitary cropping through competition indices in the east Mediterranean region. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, *32*(2), 111-119.